

# 箸を介したVR上の物体とのインタラクション

松村 楓<sup>1,a)</sup> 羽田 久一<sup>1</sup>

**概要:** 人は手で多くの情報を感じ取る。特に指先を対象とした触覚ディスプレイの研究は広く行われている。本研究では道具を介した触覚に着目し、箸を介した触覚の再現を目標としたVR用触覚デバイスの制作を行った。箸の傾きをセンサで取得し箸先端の袋の空気量を調整することで、箸で物を掴む感触の再現を目指す。実装ではUnityとArduinoを用い、箸デバイスの設計と箸の方向を検出するシステムを制作することができた。

## 1. はじめに

ヘッドマウントディスプレイ (HMD) の普及により、仮想現実 (VR) を体験することは容易になった。VRは、魔法のような現実では起こり得ないことや災害のような現実では起こさないようにしていることを、現実のように体験することができる。現在普及している家庭用のVR環境では、現実感を演出するため視覚・聴覚へのアプローチとしてHMDの高解像度化や音響の立体化などが行われてきた。人間の手は多くの情報を得ることができるため、VRをより現実らしく感じるために触覚刺激は重要である。触覚に対しては、コントローラのトラッキング精度を上げることやハンドトラッキング [1]、振動を工夫することなどによって現実感の演出が行われてきた。

VRの触覚において現実感を演出する方法は大きく分けて2つある。VR上にある物と似た形の物体を実際に触らせるものと、指先や手のひらなどに振動や圧力、電気を加えそこに物体があるかのように錯覚させるものである。我々はその2つを組み合わせた、道具を介した触覚に着目した。道具を介したインタラクションは一般的に馴染み深いものである。例えば、日本人が日常的に使用する箸もその一つだ。本研究では箸を利用したVRでのインタラクションのために、箸の移動や方向を検出するシステムを設計し制作した。

## 2. 関連研究

### 2.1 道具を介した触力覚の研究

道具を介した触力覚の研究では剣や盾という武器などのようにあらかじめ触る物が限定されているものか、設置型

で可動範囲が限定されているものが多い。

重山らの研究 [2] は把持部が棒状で先端が変形し重心が移動する、2D触覚錯覚のためのデバイスである。VR上に表示されたアイテムに合わせて重心が移動することによって実際にそのアイテムを持っている感覚を再現できる。

金らの研究 [3] は8本の糸を使い、7自由度の入力と力の提示ができるデバイスである。球状の把持部を枠の中で操作することによって、VR上の物体の外郭をなぞったり反発力を受けたりすることができる。

小川らの研究 [4] では、球とターンテーブルを用いた力覚提示システムが提案された。モータの回転運動によるトルクとリタゲティング操作を組み合わせ、VR上の2次元平面に置いてあるバーチャル物体の触覚を再現することができる。

### 2.2 圧力などを利用した触力覚の研究

振動や圧力、電気を利用した触力覚の研究では、実際の物体に触ることなくVR上で物に触れたときの触覚だけを再現しようとしている。これは現実空間に触れる物がない状況で、VR上の様々な物体に触れる感覚を表現することが目標になっている事が多い。

Trinitatovaらの研究 [5] では手のひらの接触点に3Dの力ベクトルを生成し、バーチャル物体の重さや柔らかさ、質感などの触覚を提示することができるディスプレイが提案された。Choiらの研究 [6] では親指と人差し指に装着してバーチャル物体の把持力と重さをシミュレートするデバイスを開発した。VR上の物の大きさと柔らかさに応じてブレーキを掛けることによって力覚を提示している。

Shan-Yuanらの研究 [7] では、空気式の形状変化インターフェースで手のひら全体の触覚を再現した。エアパックの大きさを変化させることで様々な大きさの物体を手で

<sup>1</sup> 東京工科大学メディア学部

<sup>a)</sup> m0117264b9@edu.teu.ac.jp

掴むことができ、ユーザー調査により VR における臨場感の向上が示唆された。宮上らの研究 [8] では同じくエアパックを利用しているが、こちらは指先にデバイスを装着することでバーチャル物体の柔らかさや温度、振動を感じることができる。このデバイスは小さいため、一般的な光学式のハンドトラッキングを妨げることなく作動する。

星らの研究 [9] では、超音波によってデバイス上の自由空間にバーチャル物体の形を表示できる。この手法では身体にデバイスを装着する必要がない。

### 3. 箸型デバイスを用いた触覚提示システム

#### 3.1 箸を用いた VR 空間内でのインタラクション

箸は東アジアを中心に古くから用いられてきた、物を挟んで移動させることができる二本で一对の道具である。物を掴む・割く・抑える・刺すなど利用方法によっていくつもの種類の動作を行える。主に食事に使われるが、狭い場所に挟まっている物や熱い場所にある物を取るということもできる。箸は第二の指先とも言える。

本研究ではコントローラとして VR コンテンツで利用することができる箸型の触覚デバイスを制作する。HMD を装着した状態で箸デバイスを動かし、VR 上の物体を掴むと箸を通して使用者に触覚刺激が伝わり、デバイスを動かすことによって VR 上の物体も移動させることができるというインタラクションを行えるようにすることが目標である。

#### 3.2 実装方針

現実で使用する箸から伝わる全ての感覚を再現することは難しいため、限られた機能を実装する。今回は、架空の恋人に食事を食べさせるというシチュエーションの VR コンテンツ (図 1) を想定し、実装すべき機能を考えた。食事をする・食べさせるという動作の中で必要になる動きは主に物を掴むことだと推察し、物を掴む感覚に重点を置いて実装することにした。

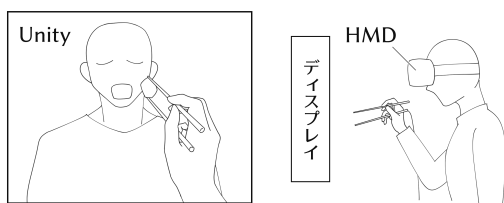


図 1 想定するコンテンツ

#### 3.3 必要な機能

箸が物を掴む感覚において最も重要なことは、箸が掴んだ物体の大きさと柔らかさだと考えた。箸で掴んだ物の大きさや柔らかさを表現するためには、箸同士の先端が物体の掴んだ部分の長さ以上に近づかないようにすることが必

要である。これを、参考文献 [8] のデバイスを参考にエアパックを箸の先端に取り付けることで実装する。次に、このエアパックがずれないように箸同士の向きは固定されている必要がある。そのため、デバイスは矯正箸のように箸に回転軸を設けそこで繋がっている構造にする。

現在のほとんどのゲームコントローラには振動機能が搭載されている。この機能は VR においては手が物体に衝突したときに使われていることが多い。そのため、本デバイスも VR の上の物体と衝突したときに振動によって衝撃を伝えるようにする。

現実に操作する箸デバイスの向きと位置は、VR 上の仮想箸と一致している必要がある。そのため、本デバイスでは回転情報を 6 軸加速度センサから、位置を映像から取得する。位置に関しては Leap Motion か Oculus Rift S のハンドトラッキング機能の使用を検討している段階である。

図 2 は完成予想図である。

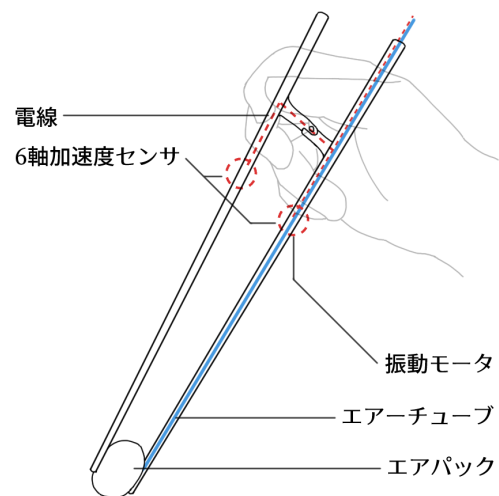


図 2 箸デバイスの設計

#### 3.4 デバイス

デバイスの制御には Arduino を使用した。箸にはビニールのエアパックと振動モータ、6 軸加速度センサを取り付けた (図 3)。エアパックはチューブにより小型蠕動ポンプと繋がっており、小型蠕動ポンプと振動モータ、6 軸加速度センサは Arduino に接続されている (図 4)。



図 3 箸デバイス

表 1 実際に動かした角度と認識された姿勢角

	動かす軸	実際に動かした角度 (°)	動いた角度の平均 (°)	誤差 (°)
試行 1	Y 軸	45	34.16	10.84
試行 2	Y 軸	90	70.98	19.02
試行 3	Z 軸	45	46.09	-1.09
試行 4	Z 軸	90	89.94	0.06

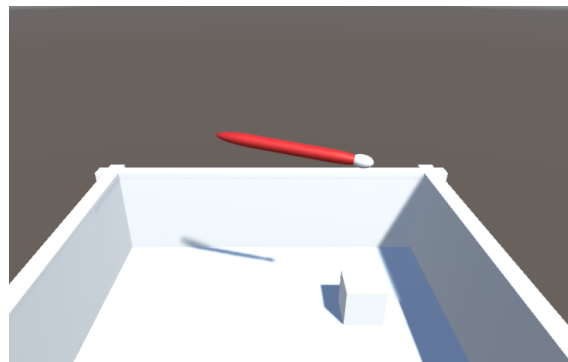


図 5 Unity でのプロトタイプ

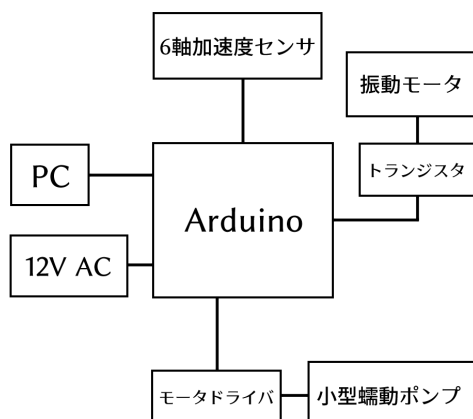


図 4 システム構成図

### 3.5 アプリケーション

アプリケーションの制御には Unity を使用する。Unity と Arduino の連携にはシリアル通信を用いた。現状では、箸デバイスに併せて仮想箸を動かすプロトタイプを制作している。箸デバイスと仮想箸の姿勢を連動させるため、加速度センサからの情報に Arduino の Madgwick フィルターライブラリを用い姿勢角を算出した。仮想箸が VR 上のオブジェクトに触れたときの振動は Unity のプログラムによって制御している。図 5 はデバイス制御に用いたアプリケーションのプロトタイプである。

## 4. 加速度センサの精度に関する実験

### 4.1 実験方法

加速度センサからの情報に Arduino の Madgwick フィルターライブラリを用い姿勢角を算出する方法について、その精度を確かめるための実験を行った。加速度センサを 1 本の箸に固定し、箸の先を X 軸としたときの Y 軸、Z 軸を中心に回転させる。加速度センサからの情報は Unity に合わせて Y 軸と Z 軸の入力数値を入れ替えており、Y 軸は水平の回転 (ヨー)、Z 軸は垂直の回転 (ピッチ) である。図 6 のような線を参考に、基準となる角度から決められた角度まで手で回転させ、Unity でどの程度ずれが生じるかを記録していく。

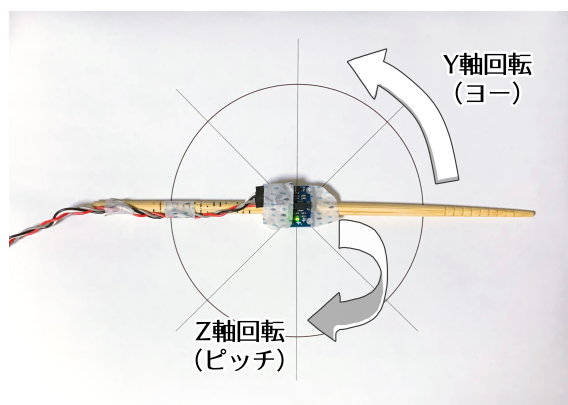


図 6 実験に用いる箸と基準線

### 4.2 実験結果と考察

表 1 は実験結果である。1 つの試行毎に 10 回の計測を行い、平均を算出した。結果から分かるように Y 軸の誤差

が大きく、箸を大きく動かすほど誤差は広がっている。

また、Z軸の回転に関しても360°から0°に切り替わる場所で箸が暴れてしまうことが分かった。

## 5. 今後の展開

本研究は、箸を介したバーチャル物体からの触覚刺激を提示することが最終目標である。手と箸の位置トラッキングと、物を掴んだ感覚を再現できるのかということが今後の課題となる。実験と調査をし、箸デバイスが箸の触覚を再現することにおいて問題がないか探っていく。

## 6. おわりに

本研究では、箸を介した触覚刺激を再現するVR用デバイスの開発を試みた。実際にUnityとArduinoを使用し、VR上と現実の箸をリンクさせるデバイスのプロトタイプを作成することができた。これまでの研究[10]ではUnityとArduinoのシリアル通信と、箸オブジェクトがVR上の物体に触れたときの振動の出力を行うことができていた。今回は新たにポンプを用いた箸デバイスの設計と、加速度センサを用いた姿勢の入力を行うことができた。しかしエアパックの動作や手のトラッキングなど不完全な部分も多く、今後の修正や実装、実験を考えている。VRと箸は、組み合わせることによって新しいVR体験を生み出すことができる。今後、コンテンツなど様々な活用も考えられる。

謝辞 本研究はJSPS科研費JP19K12289の助成を受けたものです。

## 参考文献

- [1] Lavalley, S. M., Yerushova, A., Katsev, M. and Antonov, M.: Head tracking for the Oculus Rift, *Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., pp. 187–194 (online), DOI: 10.1109/ICRA.2014.6906608 (2014).
- [2] Shigeyama, J., Hashimoto, T., Yoshida, S., Aoki, T., Narumi, T., Tanikawa, T. and Hirose, M.: Transcalibur: Weight moving VR controller for dynamic rendering of 2D shape using haptic shape illusion, *ACM SIGGRAPH 2018 Emerging Technologies, SIGGRAPH 2018*, Association for Computing Machinery, Inc, pp. 1–2 (online), DOI: 10.1145/3214907.3214923 (2018).
- [3] Kim, S., Hasegawa, S., Koike, Y. and Sato, M.: 7自由度力覚ディスプレイSPIDAR-Gの提案, *Transactions of the Virtual Reality Society of Japan*, Vol. 7, No. 3, pp. 403–412 (オンライン), DOI: 10.18974/tvrsj.7.3.403 (2002).
- [4] 小川剛史, 高橋直人: Haptic Turntable: 視触覚VRのためのリターゲットングと回転運動を用いた力触覚提示システム, *情報処理学会論文誌デジタルコンテンツ (DCON)*, Vol. 8, No. 1, pp. 20–28 (2020).
- [5] Trinitatova, D. and Tsetserukou, D.: TouchVR: A wearable haptic interface for VR aimed at delivering multi-modal stimuli at the user's palm, *SIGGRAPH Asia 2019 XR, SA 2019*, Association for Computing Machinery, Inc, pp. 42–43 (online), DOI:

- 10.1145/3355355.3361896 (2019).
- [6] Choi, I., Culbertson, H., Miller, M. R., Olwal, A. and Follmer, S.: Grability: A wearable haptic interface for simulating weight and grasping in virtual reality, *UIST 2017 - Proceedings of the 30th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, Inc, pp. 119–130 (online), DOI: 10.1145/3126594.3126599 (2017).
- [7] Shan-Yuan, T., Tzu-sheng, K., Chi, W., Chihuan, C., Da-Yuan, H., Liwei, C. and Bing-Yu, C.: PuPoP: Pop-up Prop on Palm for Virtual Reality, *UIST '18: Proceedings of the 31st Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, pp. 5–17 (online), available from (<https://dl.acm.org/doi/10.1145/3242587.3242628>) (2018).
- [8] Miyakami, M., Murata, K. A. and Kajimoto, H.: Hapballoon: Wearable haptic balloon-based feedback device, *SIGGRAPH Asia 2019 Emerging Technologies, SA 2019*, ACM, pp. 17–18 (online), DOI: 10.1145/3355049.3360535 (2019).
- [9] 星 貴之, 岩本貴之, 篠田裕之: 空中超音波フェーズドアレイによる触覚ディスプレイ, *日本バーチャルリアリティ学会第13回大会論文集* (2008).
- [10] 松村 楓, 羽田久一: 箸を介したVR上の物体とのインタラクション, *映情学技報*, Vol. 44, No. 10, pp. 205–206 (2020).